

Решение:

$$A_{\Gamma_{AB}} = 360^\circ - r_r = 360^\circ - 67^\circ 57' = 272^\circ 03';$$

$$A_{M_{AB}} = A_r - \delta = 272^\circ 03' - 7^\circ 21' = 264^\circ 42';$$

$$r_{M_{AB}} = A_M - 180^\circ = 264^\circ 42' - 180^\circ = 84^\circ 42';$$

$$\alpha_{AB} = A_r - \gamma = 272^\circ 03' - 3^\circ 48' = 268^\circ 15'.$$

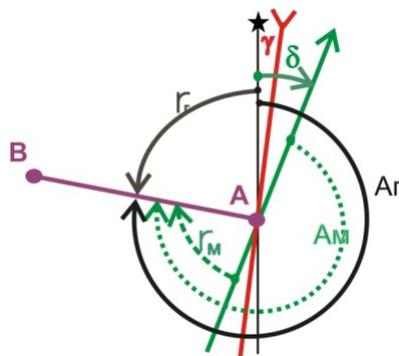


Рис. 2.10. Схема углов к примеру 2.7

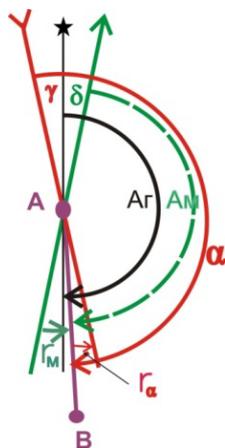


Рис. 2.11. Схема углов к примеру 2.8

Пример 2.8. Известны

$$r_{M_{AB}} = IOB: 6^\circ 00'; \quad \delta = 5^\circ 12'; \quad \gamma = -3^\circ 22'.$$

Вычислите азимут географический, дирекционный угол, румб дирекционный.

Решение: $A_{M_{AB}} = 180^\circ - r_M = 180^\circ - 6^\circ = 174^\circ;$

$$A_{\Gamma_{AB}} = A_M + \delta = 174^\circ 03' + 5^\circ 12' = 179^\circ 15';$$

$$\alpha_{AB} = A_r + \gamma = 179^\circ 15' + 3^\circ 22' = 182^\circ 37';$$

$$r_{\alpha_{AB}} = \alpha - 180^\circ = 182^\circ 37' - 180^\circ = 2^\circ 37'.$$

4. Определение абсолютных высот

При определении абсолютных высот точек по картам с горизонталями возможны четыре случая.

- Точка расположена на горизонтали. Отметка точки, расположенной на горизонтали, равна отметке этой горизонтали. На рис. 2.12, а отметка точки А равна 55 м ($H_A = 55$ м).

- Точка находится между двумя горизонталями с разными абсолютными отметками.

Пусть точка В (рис. 2.12, а), отметку которой требуется определить, расположена между горизонталями с отметками 55 и 60 м.

Через точку В проводят прямую FG как кратчайшее расстояние между горизонталями и на плане измеряют заложение $d = FG$ и отрезок $x = GB$. Как видно из вертикального разреза по линии FG (рис. 2.12, б), величина Δh представляет собой превышение точки В над младшей го-

ризонтью (55). Из подобия треугольников FBB' и FGG' следует

$$\frac{d}{x} = \frac{h}{\Delta h}, \quad \Delta h = \frac{h}{d} \cdot x.$$

Тогда

$$H_B = H_{гор.} \pm \Delta h = H_B \pm \frac{h}{d} \cdot x. \quad (5)$$

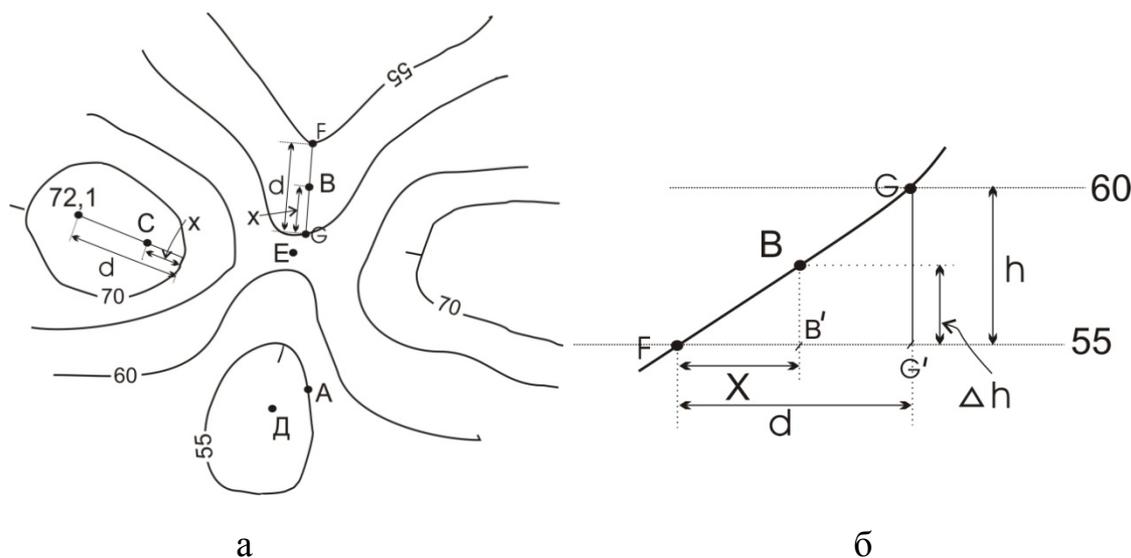


Рис. 2.12. Определение отметок точек по горизонталям: а – горизонтальная проекция, б – вертикальная проекция

Для приведённого на рис. 2.12 примера $h = 5$ м; если $d = 30$ мм, $x = 15$ мм, то вычислим высоту точки:

$$H_B = 55 м + \frac{5 м}{30 мм} \cdot 15 мм = 55 м + 2,5 м = 57,5 м.$$

- Точка C расположена внутри замкнутой горизонтали и известна абсолютная отметка характерной точки (вершина возвышенности – 72,1 м). Соединив точку с известной отметкой и точку C , продолжим линию до горизонтали. Измерив d и x (пусть они равны 40 и 15 мм соответственно) находим абсолютную отметку точки по формуле 5, где h есть превышение между горизонталью и характерной точкой:

$$h = 72,1 м - H_{гор} = 72,1 м - 70 м = 2,1 м.$$

В результате $H_C = 70 м + \frac{2,1 м}{40 мм} \cdot 15 мм = 70,79 м.$

- Точка расположена между одноимёнными горизонталями. Если точка расположена между горизонталями с одинаковыми отметками

(точка Е на рис. 2.12) либо внутри замкнутой горизонтали (точка Д), то ее отметку можно определить лишь приближенно. При этом считают, что отметка точки меньше или больше высоты этой горизонтали на половину высоты сечения рельефа, т. е. $0,5h$.

$$H_{Д} = H_{гор} \pm \frac{1}{2}h. \quad (6)$$

В примере, приведённом на рис. 2.12

$$H_{Д} = 55,0 м - \frac{5,0 м}{2} = 52,5 м. \quad H_{Е} = 65,0 м - \frac{5,0 м}{2} = 62,5 м.$$

Пример 2.9. Точка *М* находится внутри горизонтали с отметкой 65 м. Отметка характерной точки (вершина холма) – 66,6 м. Найдите абсолютную отметку точки *М*, если высота сечения рельефа – 2,5 м; расстояние от характерной точки до горизонтали – 20 мм, расстояние от точки, отметку которой нужно определить, до ближайшей горизонтали по карте – 9 мм.

Решение:

$$H_{М} = H_{гор} + \frac{h}{d} \cdot x = 65 м + \frac{1,6 м}{20 мм} \cdot 9 мм = 65,72 м.$$

Пример 2.10. Точка *К* находится внутри замкнутой горизонтали с отметкой 75 м (холм). Найдите отметку точки, расположенной внутри горизонтали, если высота сечения рельефа 5 м.

Решение:

$$H_{К} = H_{гор} + \frac{1}{2} \cdot h = 75 м + 2,5 м = 77,5 м.$$

Пример 2.11. Точка *М* находится между двумя горизонталями с отметками 125 и 127,5 м. Найдите абсолютную отметку точки *М*, если заложение ската – 25 мм, расстояние от точки, отметку которой нужно определить, до ближайшей горизонтали (125 м) – 5 мм.

Решение:

$$H_{М} = H_{гор} + \frac{h}{d} \cdot x = 125 м + \frac{2,5 м}{25 мм} \cdot 5 мм = 125 м + 0,5 м = 125,5 м.$$

Пример 2.12. На карте имеется замкнутая горизонталь с отметкой 105 м (котловина). Найдите отметку точки *А*, расположенной внутри горизонтали, если высота сечения рельефа 5 м.

Решение:

$$H_{А} = H_{гор} + \frac{1}{2} \cdot h = 105 м - 2,5 м = 102,5 м.$$

5. Определение крутизны ската

Рассматривая топографический план или карту мы видим, что взаимные расстояния между горизонталями чрезвычайно разнообразны. Это связано с разной крутизной скатов поверхности Земли.

Заложение, нормальное к горизонталям и являющееся кратчайшим, называется **заложением ската** (рис. 2.13, а).

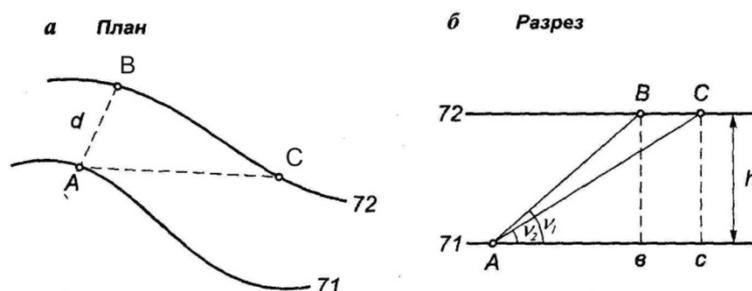


Рис. 2.13. Крутизна ската: AB – заложение ската; AC – заложение горизонталей

Крутизна ската характеризуется **углом наклона линии к горизонту** (v) и **уклоном линии** (i). Эти величины определяют по следующим формулам:

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}, \quad v = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{h}{d}, \quad (7, 8)$$

где h – высота сечения рельефа, м; d – заложение горизонталей (ската), м.

Уклон линии является отвлечённой величиной и выражается в процентах или промилле (тысячных долях единицы – ‰). Угол наклона выражается в градусах.

Пример 2.13. Рассчитайте уклон линии и угол наклона, если величина заложения в масштабе карты равна 20 м, высота сечения рельефа – 5 м.

Решение: $i = \frac{5\text{ м}}{20\text{ м}} = 0,25 = 250\text{ ‰} = 25\%$.

$v = \operatorname{arc} \operatorname{tg} 0,250 \approx 14,036^\circ \approx 14^\circ 02' 11''$.

Пример 2.14. Между двумя точками заложение горизонталей в масштабе карты равно 332 м, а уклон линии составил -0,0028. Найдите превышение h между этими точками.

Решение: $i = \frac{h}{d}; h = i \cdot d = -0,028 \cdot 332 \approx -9,3 \text{ м.}$

Пример 2.15. Рассчитайте величину заложения, соответствующую уклону 25 промилле, если масштаб плана 1:2000, а высота сечения рельефа 2,5 м.

Решение:

$$i = \frac{h}{d}; d = \frac{h}{i} = \frac{2,5 \text{ м}}{0,025} = 100 \text{ м}; \frac{1}{2000 \text{ см}} = \frac{d_{\text{пл}}}{100 \text{ м}}; d_{\text{пл}} = \frac{10000 \text{ см}}{2000 \text{ см}} = 5 \text{ см.}$$

Пример 2.16. Длина линии, измеренная на местности рулеткой, составила 120 м. Определите длину этой линии на плане масштаба 1:1000, если крутизна ската равна 15° .

Решение:

$$d = D \cos \nu = 120 \cdot \cos 15^\circ \approx 120 \cdot 0,97 \approx 116,4 \text{ м;}$$

$$\frac{1}{1000} = \frac{d_{\text{пл}}}{116,4}; d_{\text{пл}} = \frac{116,4 \text{ м}}{1000 \text{ см}} \approx 11,64 \text{ см.}$$

Для избежания расчетов при определении уклонов и углов наклона линий по плану или карте на практике пользуются специальными графиками, называемыми **графиками заложений** – для углов наклона (рис. 2.14) или для уклонов. Графики заложений строятся для определённой высоты сечения рельефа.

Для построения графика заложений углов наклона горизонтальную линию делят на равные отрезки произвольной длины и у концов отрезков подписывают значения углов наклона. Затем вычисляют заложения, соответствующие каждому значению угла наклона при принятой высоте сечения рельефа, по формуле

$$d = \frac{h}{\text{tg } \nu}. \quad (9)$$

Полученные величины заложений, выраженные в масштабе карты, откладывают на перпендикулярах к горизонтальной линии против соответствующих углов наклона. Полученные точки соединяют (рис. 2.14). Если вместо углов наклона подписать уклоны, то получают график уклонов.

Для определения угла наклона или уклона с плана берут в раствор циркуля соответствующее заложение горизонталей, переносят его на график заложений так, чтобы одна ножка циркуля располагалась на ос-

новании, другая – на кривой. Обе ножки измерителя должны быть при этом на одном перпендикуляре к основанию (рис. 2.14). В рассматриваемом примере $\nu = 1,5^\circ; i = 0,025$.

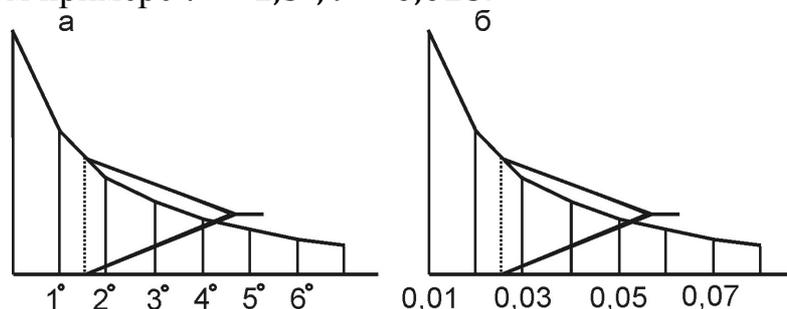


Рис. 2.14. График заложения углов наклона (а) и уклона линии (б)

Пример 2.17. Постройте график заложения углов наклона линии для М 1:5000. Высота сечения рельефа – 5 м (рис. 2.15¹²).

Решение: $d_1 = \frac{h}{\operatorname{tg} 1^\circ} = \frac{5}{0,017} = 294,12 \text{ м}$, $d_2 = \frac{h}{\operatorname{tg} 2^\circ} = \frac{5}{0,035} = 142,86 \text{ м}$;
 $d_3 = \frac{h}{\operatorname{tg} 3^\circ} = \frac{5}{0,052} = 96,15 \text{ м}$; $d_4 = \frac{h}{\operatorname{tg} 4^\circ} = \frac{5}{0,070} = 71,43 \text{ м}$;
 $d_5 = \frac{h}{\operatorname{tg} 5^\circ} = \frac{5}{0,087} = 57,47 \text{ м}$; $d_6 = \frac{h}{\operatorname{tg} 6^\circ} = \frac{5}{0,105} = 47,62 \text{ м}$.

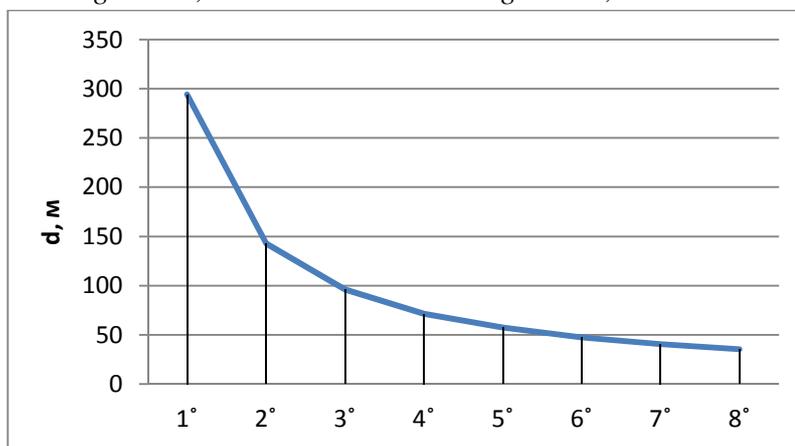


Рис. 2.15. График заложений для углов наклона: М 1:5000; h - 5 м

6. Построение профиля местности по заданному направлению

Профиль – это вертикальный разрез рельефа местности по заданному направлению.

¹² Рисунок уменьшен

Топографические профили местности используются для решения большого числа различных инженерных задач: при составлении предварительных проектов строительства инженерных сооружений линейного типа, при составлении геологических разрезов, при определении на местности линий видимости между выбранными точками, для составления описания рельефа по выбранному маршруту и др.

Построить профиль местности по заданному направлению (направление АВ по карте) – значит выполнить следующий комплекс работ.

- Вдоль линии АВ выделите элементарные формы и характерные линии рельефа. Найдите и подпишите горизонталы.
- Найдите и пронумеруйте точки пересечения линии АВ с горизонталями, водораздельными и водосливными линиями.
- Оцените максимальную и минимальную высоту по линии профиля.
- Задайте горизонтальный и вертикальный масштабы профиля. Горизонтальной линией профиля является ось расстояний, вертикальной линией – ось высот. Масштабы профиля, построенного по топографической карте, по высоте и расстояниям различные. Обычно горизонтальный масштаб профиля равен масштабу топографической карты, с помощью которой он строится, а вертикальный масштаб принимают в 10 раз крупнее горизонтального. Например, масштаб карты 1:50000. Следовательно, горизонтальный масштаб профиля равен 1:50000, а вертикальный масштаб – 1:5000. В некоторых случаях, для большей наглядности, применяют более крупные масштабы высот либо укрупняют и горизонтальный масштаб. В любом случае для основания масштаба рекомендуется выбирать числа: 1; 2; 2,5; 5 (1:1000, 1:200, 1:50 и т.п.).
- Постройте оси координат профиля и оцифруйте их в соответствии с выбранными горизонтальным и вертикальным масштабами. Укажите высоту условного горизонта.

Условный горизонт (УГ) – это линия, абсолютная высота которой на графике профиля подбирается так, чтобы между нижней точкой профиля и линией условного горизонта оставалось место для нанесения другой информации, в отношении которой строится сам профиль. Условный горизонт на рисунке равен 135 м.

- Отложите на горизонтальной линии отрезки А-1, 1-2, 2-3 и т. д. (рис. 2.16). Концы отрезков пронумеруйте (1, 2, 3 и т.д.)

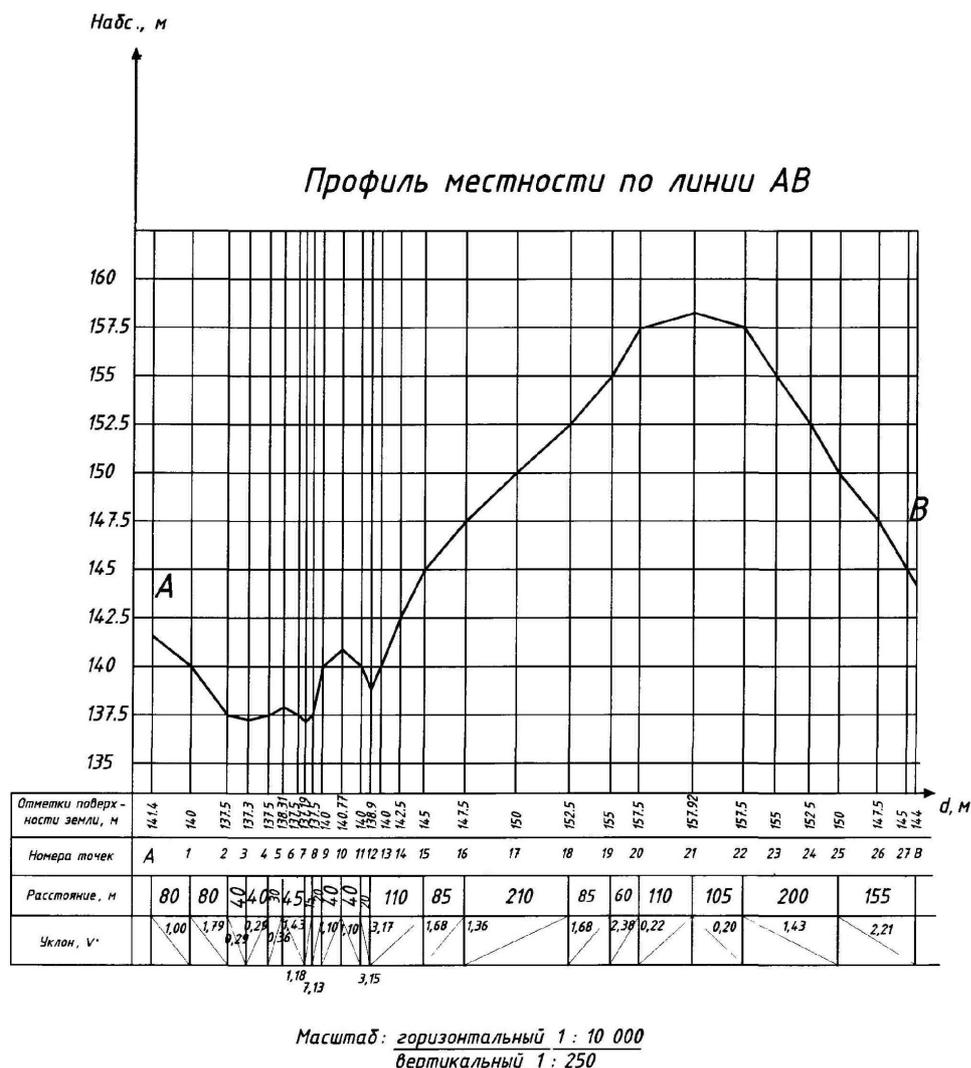


Рис. 2.16. Вертикальный профиль местности по линии АВ

- Абсолютные отметки точек выпишите строчкой ниже, под номерами точек. Значения абсолютных отметок точек отложите на перпендикулярах (ординатах) к основанию профиля в принятом вертикальном масштабе. Полученные точки профиля соедините.
- В сетке профиля выделите «на глаз» *однородные склоны* и вычислите для них *уклоны*. Характерными точками рельефа и ситуации являются точки перегибов рельефа, линии водоразделов и водосливов (талвеги), седловины, вершины гор (холмов), дна котловин (ям), пересечения с объектами линейного типа, гидрографией, а также и другие точки, представляющие интерес для исполнителя.
- Измерьте и выпишите длину однородных склонов.

7. Построение линии заданного уклона

При проектировании железных и шоссейных дорог, каналов и других протяженных объектов возникает необходимость наметить на карте (плане) трассу будущего сооружения с заданным уклоном.

Пусть на плане масштаба 1:10 000 требуется наметить трассу шоссейной дороги между точками M и N , чтобы уклон ее во всех частях не превышал $i = 0,05$ (рис. 2.17). Высота сечения рельефа на плане $h = 5$ м.

Для решения задачи рассчитывают заложение, соответствующее заданному уклону i и высоте сечения рельефа h , как

$$d = \frac{h}{i_{np}} = \frac{5\text{ м}}{0,05} = 100\text{ м}$$

и выражают его в масштабе плана $d' = \frac{d, \text{ м} \cdot 100}{M} = \frac{100\text{ м} \cdot 100}{10000} = 1\text{ см}$,

где t – знаменатель численного масштаба плана. Величину заложения d' можно определить также по графику заложений.

Раствором циркуля, равным заложению $d' = 1$ см, из точки M засекают соседнюю горизонталь и получают точку 1; из точки 1 тем же раствором засекают следующую горизонталь, получая точку 2, и т. д. Соединив полученные точки, проводят линию с заданным уклоном.

Если рассчитанное заложение d' окажется меньше расстояния между двумя соседними горизонталями (т. е. уклон ската на данном участке меньше заданного), то участок трассы проводится по кратчайшему расстоянию между ними. При проектировании дорог последнее расценивается как положительный фактор.

Следует сказать, что решение данной задачи позволяет наметить несколько вариантов трассы, из которых выбирается наиболее приемлемый с технико-экономической точки зрения.

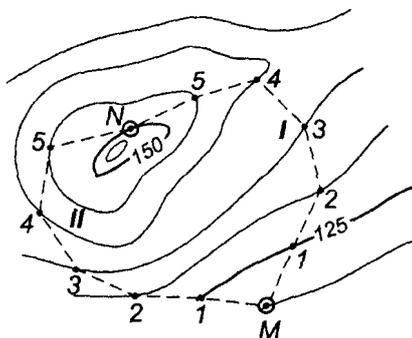


Рис. 2.17. Схема проектирования трассы с заданным уклоном

8. Определение границы водосборной площади

Водосборной площадью, или **бассейном**, называется участок земной поверхности, с которой вода по условиям рельефа должна стекать в данный водосток (реку, лощину и т. д.). Оконтуривание водосборной площади проводится с учетом рельефа местности по горизонталям карты (плана).

Границами водосборной площади служат линии водоразделов, пересекающие горизонтали под прямым углом. На рис. 2.18 линии водоразделов показаны пунктиром.

Зная водосборную площадь, среднегодовое количество осадков, условия испарения и впитывания влаги почвой, можно подсчитать мощность водного потока, которая необходима для расчета мостов, площадок дамб и других гидротехнических сооружений.

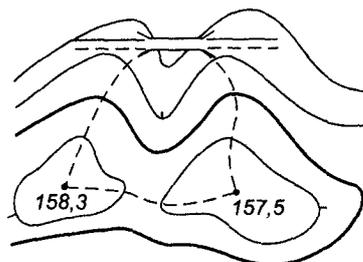


Рис. 2.18. Схема определения границы водосборной площади

9. Определение объемов земляных тел

Используя план с горизонталями, можно вычислить объемы земляных тел, представляющих собой холмы или горы, либо объемы пространств, образуемых впадиной или котловиной.

Объем пород, заключенных в холме (рис. 2.19), может быть представлен как сумма объемов, заключенных между соседними горизонталями. Объем каждого пояса определится по приближенной формуле объема усеченного конуса:

$$\text{для I пояса } V_1 = \frac{S_1 + S_2}{2} h; \quad \text{для II пояса } V_2 = \frac{S_2 + S_3}{2} h,$$

где h – высота сечения рельефа; S_i и S_{i+1} – площади нижнего и верхнего оснований пояса, ограниченные горизонталями; в зависимости от необходимой точности определяются графически либо с помощью планиметра.

Если верхний слой холма имеет форму купола, то его объем определится по приближенной формуле

$$V_B = \frac{1}{2} S_B h',$$

где S_B – площадь основания верхнего слоя; h' – разность отметок горизонтали основания верхнего слоя и вершины холма.

Общий объём холма $V = \sum_{i=1}^n V_i$.

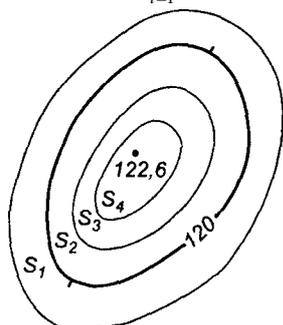


Рис. 2.19. Схема определения объёмов земляных тел

9. Задания для самостоятельного выполнения

- Постройте на бумаге заданные отрезки

№ варианта	Длина, м	М	№ варианта	Длина, м	М
1	110,25	1:10000	5	11,5	1:25000
2	254,5	1:10000	6	25,45	1:5000
3	110,25	1:5000	7	38,5	1:500
4	254,5	1:5000	8	80,64	1:2000

- По румбу географическому ($r_r = \text{СВ}:78^\circ 15'$), сближению меридианов ($\gamma = -1^\circ 20'$) и магнитному склонению ($\delta = -1^\circ 20'$) определите A_r , α , A_m , r_m . Составьте чертёж ориентирования.

- Измерьте на карте в квадрате 68/11 для направления между точками с абсолютными высотами 157,7 и 154,9 прямые и обратные ориентирные углы A_r , α , r_r , r_α . Для этой же линии рассчитайте прямые и обратные A_m и r_m . Составьте чертёж ориентирования.

- Точка М находится внутри горизонтали с отметкой 98 м. Отметка характерной точки (вершина) – 98,7 м. Найдите абсолютную отметку точки М, если высота сечения рельефа – 1 м; расстояние от характерной точки до горизонтали – 20 мм, расстояние от точки, отметку которой нужно определить, до ближайшей горизонтали по карте – 9 мм.

- Точка К находится внутри замкнутой горизонтали с отметкой 100 м (вершина возвышенности). Найти отметку точки, расположенной внутри горизонтали, если высота сечения рельефа 5 м.

- Известен уклон $i = -0,028$ и горизонтальное проложение $d = 332$ м. Найдите высоту сечения рельефа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Камеральные работы при теодолитной съёмке

План:

1. Обработка ведомости вычисления координат точек теодолитного хода
2. Построение плана участка теодолитной съёмки
3. Задания для самостоятельного выполнения

1. Обработка ведомости вычисления координат точек теодолитного хода

В основу теодолитной съёмки положены теодолитные ходы.

В замкнутом теодолитном ходе (полигоне) могут быть измерены внутренние либо внешние горизонтальные углы β (рис. 3.1). Если принять направление обхода по часовой стрелке, то все внутренние горизонтальные углы, показанные на схеме, будут правыми по ходу.

Измеренные углы и длины сторон теодолитных ходов содержат неизбежные случайные погрешности, накопление которых приводит к возникновению так называемых *невязок*. **Невязками** называются *разности между измеренными либо вычисленными величинами и их теоретическими значениями*.

В зависимости от требуемой точности величины фактических невязок не должны превышать определенных величин. При обработке результатов измерений возникшие невязки должны быть определенным образом распределены между измеренными (вычисленными) величинами.

Процесс распределения невязок и вычисления исправленных значений величин называется увязкой или уравниванием результатов измерений. После уравнивания обычно проводится *оценка точности полученных результатов*.

В результате выполнения первого этапа теодолитной съёмки получают журнал измерения углов и дальномерных расстояний; результаты полевых работ по съёмке ситуации заносят в *абрис* (рис. 3.2). Затем в камеральных условиях вычисляют координаты вершин теодолитного хода (полигона) и строят на бумаге план. Вычисления ведут в специальной ведомости (табл. 3.1).

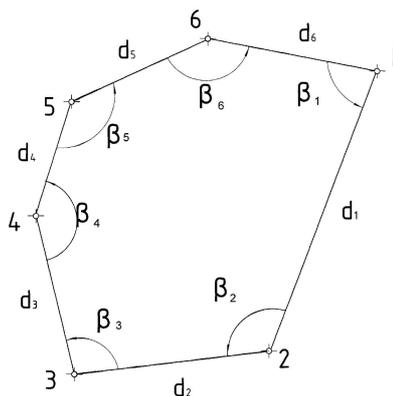


Рис. 3.1. Схема полигона

Порядок вычислений

1.1. Рассчитайте фактическую угловую невязку $f_{\beta \phi}$ теодолитного хода (рис. 3.2).

Для этого сначала найдите **сумму измеренных внутренних углов** по формуле (для замкнутого хода)

$$\sum_1^n \beta_{изм} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n \quad (3.1)$$

Для разомкнутого полигона просуммируйте внутренние (правые) либо внешние (левые) углы. В сумму входят и **примычные углы** (рис. 3.3).

Теоретическую сумму внутренних углов (правых) вычислите по формулам:

$$\sum \beta_{теор} = \alpha_{нач} - \alpha_{кон} \pm 180^\circ \cdot n - \text{для разомкнутого хода}, \quad (3.2)$$

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n - 2) - \text{для сомкнутого хода}, \quad (3.3)$$

где n – количество углов в полигоне, $\alpha_{нач}$ и $\alpha_{конечн}$ – **дирекционные углы начальной и конечной сторон хода**.

Если в полигоне измерены внешние углы (левые), то формулы 3.2 и 3.3 приобретают вид

$$\sum \beta_{теор} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач} \pm 180^\circ \cdot n - \text{для разомкнутого хода}, \quad (3.4)$$

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n + 2) - \text{для сомкнутого хода}. \quad (3.5)$$

Используя найденные величины найдите **фактическую угловую невязку** $f_{\beta \phi}$ замкнутого хода по формуле:

$$f_{\beta \phi} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор}, \quad (3.6)$$

где $\sum \beta_{изм}$ – сумма измеренных внутренних углов; $\sum \beta_{теор}$ – теоретическая сумма внутренних углов.

$$f_{\beta\phi} = \sum \beta_{\text{изм}}^{\text{лев}} - \sum \beta_{\text{теор}}, \quad (3.8)$$

если измерены левые по ходу углы.

1.2. Вычислите **допустимую угловую невязку** для технических теодолитных ходов:

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n}, \quad (3.9)$$

где n – число измеренных углов¹³.

1.3. Сравните фактическую угловую невязку теодолитного хода с допустимой:

$$f_{\beta \text{ доп}} \geq f_{\beta\phi}. \quad (3.10)$$

Если условие выполняется, то распределите эту угловую фактическую невязку с обратным знаком поровну на все углы хода. Для этого вычислите **угловую поправку** δ_{β} :

$$\delta_{\beta} = \frac{-f_{\beta\phi}}{n}, \quad (3.11)$$

где n – количество углов в полигоне.

Если невязка $f_{\beta\phi}$ не делится без остатка на число углов n , то несколько большие поправки вводят в углы с короткими сторонами, так как на результатах таких углов в большей степени сказывается неточность центрирования теодолита и визирных знаков (вех). Поправки δ_{β} с округлением до десятых долей минуты выписывают со своими знаками в ведомость над значениями соответствующих измеренных углов (табл. 3.1). При этом во всех случаях должно соблюдаться условие

$$\sum \delta_{\beta} = -f_{\beta\phi},$$

т. е. сумма поправок должна равняться фактической угловой невязке с обратным знаком.

Если условие не выполняется, то проверьте все вычисления. Если в вычислениях нет ошибок, повторите угловые измерения углов в полигоне.

Пример 3.1. Если $f_{\beta\phi} = -1,2'$; $n = 6$, то $\delta_{\beta} = \frac{-f_{\beta\phi}}{n} = \frac{+1,2'}{6} = +0,2'$.

1.4. Вычислите исправленные углы:

$$\beta_{\text{испр}} = \beta_1 \pm \delta_{\beta}; \beta_{2 \text{ испр}} = \beta_2 \pm \delta_{\beta} \text{ и т.д.} \quad (3.12)$$

¹³ Для диагонального хода n – число углов, использованных при вычислении невязки по формулам 3.7 и 3.8.

Исправленные углы запишите в соответствующую графу таблицы.

Пример 3.2. Если $\beta_1 = 79^\circ 30,2'$; $\delta_\beta = 0,2'$, то

$$\beta_{1\text{испр}} = \beta_1 \pm \delta_\beta = 79^\circ 30,2' + 0,2' = 79^\circ 30,4'.$$

1.5. *Контроль: просуммируйте исправленные углы и убедитесь, что*

$$\sum \beta_{\text{испр}} = \sum \beta_{\text{теор}}.$$

1.6. По известному дирекционному углу начальной стороны и исправленным внутренним углам $\beta_{\text{испр}}$ вершин теодолитного хода *вычислите дирекционные углы последовательно для всех сторон полигона следующим образом:*

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2\text{испр}}; \quad (3.13)$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{3\text{испр}};$$

и т.д.

Если в полигоне измерены левые по ходу углы, то формулы приобретают вид

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} - 180^\circ + \beta_{2\text{испр}}; \quad (3.14)$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} - 180^\circ + \beta_{3\text{испр}}; \quad \text{и т.д.}$$

В результате вычислений вы можете получить дирекционный угол больше 360° , тогда его нужно уменьшить на 360° , а если сумма $\alpha_{n-1} + 180^\circ$ меньше вычитаемого угла, то её нужно сначала увеличить на 360° .

Пример 3.3. Если $\alpha_{1-2} = 201^\circ 02'$, $\beta_{2\text{испр}} = 118^\circ 5,7'$, то

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2\text{испр}} = 201^\circ 02' + 180^\circ - 118^\circ 5,7' = 262^\circ 53,3'.$$

1.7. *Контролем вычислений дирекционных углов для разомкнутого хода служит повторное получение уже известного значения дирекционного угла конечной стороны, а для сомкнутого – дирекционного угла начальной стороны.*

1.8. *Переведите полученные дирекционные углы в румбы, пользуясь схемой взаимосвязи дирекционных углов и румбов (Прил. 1). Подобная схема приведена в любом учебнике по геодезии.*

Пример 3.4. Если $\alpha_{1-2} = 201^\circ 02'$, то для третьей четверти связь дирекционных углов и румбов выражается формулой $r = \alpha - 180^\circ$, поэтому $r_{1-2} = 201^\circ 02' - 180^\circ = \text{ЮЗ} : 21^\circ 02'$.

1.9. Рассчитайте, если необходимо, средние горизонтальные проложения сторон:

$$d_{1-2...cp} = \frac{d_{1-2} + d_{2-1}}{2}. \quad (3.15)$$

Пример 3.5. $d_{1-2\text{ cp}} = \frac{222,88\text{ м} + 222,76\text{ м}}{2} = 222,82\text{ м}.$

1.10. Вычислите приращения координат каждой стороны по формулам прямой геодезической задачи¹⁴:

$$\Delta x_1 = d_1 \cos r_{1-2} \text{ и } \Delta y_1 = d_1 \sin r_{1-2}; \quad (3.16, 3.17)$$

$$\Delta x_2 = d_2 \cos r_{2-3} \text{ и } \Delta y_2 = d_2 \sin r_{2-3} \text{ и т.д.}$$

Знаки приращений установите по их румбам (Прил. 2).

Пример 3.6. Если $r_{1-2} = ЮЗ : 21^\circ 02'$,

то $\Delta x_1 = d_1 \cdot \cos r_{1-2} = 222,82 \cdot \cos 21^\circ 02' = -207,97\text{ м}.$

$\Delta y_1 = d_1 \cdot \sin r_{1-2} = 222,82 \cdot \sin 21^\circ 02' = -79,97\text{ м}.$

1.11. Вычислите суммы приращений всех сторон полигона по оси X ($\Sigma \Delta x$) и по оси Y ($\Sigma \Delta y$).

Для замкнутого хода (полигона), имеющего вид замкнутого многоугольника, теоретическая сумма приращений координат по каждой оси должна быть равна нулю, т. е.

$$\sum \Delta x_{теор} = 0, \quad \sum \Delta y_{теор} = 0.$$

Однако на практике вследствие погрешностей угловых и линейных измерений суммы приращений координат равны не нулю, а некоторым величинам f_x и f_y , которые называются **невязками в приращениях координат**:

$$f_x = \sum \Delta x, \quad f_y = \sum \Delta y.$$

1.12. Для разомкнутого полигона невязку в приращениях координат – f_x, f_y вычислите по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x_{выч} - \sum \Delta x_{теор}, \quad (3.18)$$

$$f_y = \sum \Delta y_{выч} - \sum \Delta y_{теор}, \quad (3.19)$$

где $\sum \Delta x_{теор} = x_{конечн} - x_{нач}$, $\sum \Delta y_{теор} = y_{конечн} - y_{нач}$.

¹⁴ В этих формулах вместо румбов можно использовать значения дирекционных углов

Пример 3.7. Если $x_{\text{кон}} = x_{30} = 1274,4 \text{ м}$, $x_{\text{нач}} = x_{29} = 1015,15 \text{ м}$,
 $\sum \Delta x_{\text{выч}} = 259,41 \text{ м}$, то

$$\sum \Delta x_{\text{теор}} = x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}} = x_{30} - x_{29} = 1274,4 - 1015,15 = 259,25 \text{ м.}$$

$$f_x = 259,41 - 259,25 = 0,16 \text{ м.}$$

Пример 3.8. Если $y_{\text{кон}} = y_{30} = -1444,15 \text{ м}$, $y_{\text{нач}} = y_{29} = -1984,85 \text{ м}$,
 $\sum \Delta y_{\text{выч}} = 540,68 \text{ м}$, то

$$\sum \Delta y_{\text{теор}} = y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}} = y_{30} - y_{29} = -1444,15 + 1984,85 = 540,7 \text{ м.}$$

1.13. Рассчитайте абсолютную линейную невязку $f_{\text{абс}}$, затем относительную линейную невязку $f_{\text{отн}}^{\text{выч}}$:

$$f_{\text{абс}} = \pm \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (3.20)$$

$$f_{\text{отн}}^{\text{выч}} = \frac{1}{P} \cdot f_{\text{абс}}. \quad (3.21)$$

1.14. Вычисленную относительную линейную невязку $f_{\text{отн}}^{\text{выч}}$ сравните с допустимой относительной линейной невязкой $f_{\text{отн}}^{\text{доп}}$, при этом должно выполняться условие:

$$f_{\text{отн}}^{\text{выч}} \leq f_{\text{отн}}^{\text{доп}} \quad (3.22)$$

где $f_{\text{отн}}^{\text{доп}}$ – допустимая относительная невязка, величина которой устанавливается соответствующими инструкциями в зависимости от масштаба съемки и условий измерений; принимается в пределах 1:3000 – 1:1000.

1.15. Если вычисленная относительная невязка допустима, т. е. соблюдается условие (3.22), то допустимы и невязки в приращениях координат f_x и f_y ; это дает основание произвести увязку (уравнивание) приращений координат по абсциссам и ординатам. Невязки f_x и f_y распределяются по вычисленным приращениям координат пропорционально длинам сторон с обратным знаком. Весовые поправки в приращения координат определяют по формулам:

$$\delta_{\Delta x_{1-2}} = \frac{-f_x}{P} \cdot d_1; \quad \delta_{\Delta y_{1-2}} = \frac{-f_y}{P} \cdot d_1. \quad (3.23, 3.24)$$

$$\delta_{\Delta x_{2-3}} = \frac{-f_x}{P} \cdot d_2; \quad \delta_{\Delta y_{2-3}} = \frac{-f_y}{P} \cdot d_2 \text{ и т.д.}$$

Их значения с округлением до сантиметра записывают в ведомости над соответствующими вычисленными приращениями координат (см.

табл. 3.1). Для контроля вычисляют суммы поправок $\delta_{\Delta x}$ и $\delta_{\Delta y}$, которые должны быть равны соответствующим невязкам с обратным знаком, т. е.

$$\sum \delta_{\Delta x} = -f_x \text{ и } \sum \delta_{\Delta y} = -f_y.$$

Пример 3.9. Если $f_x = -0,03$, $P = 813,73 \text{ м}$, $d = 222,82 \text{ м}$, то $\delta_{\Delta x_{1-2}} = \frac{0,03 \text{ м}}{813,73 \text{ м}} \cdot 222,82 \text{ м} = 0,01 \text{ м}$;

Если $f_y = -0,24$, то $\delta_{\Delta y_{1-2}} = \frac{0,24 \text{ м}}{813,73 \text{ м}} \cdot 222,82 \text{ м} = 0,07 \text{ м}$.

1.16. По вычисленным приращениям координат и поправкам вычислите **исправленные приращения координат**:

$$\Delta y_{1-2 \text{ испр}} = \Delta y_{1-2} \pm \delta_{\Delta y_{1-2}}; \quad (3.25)$$

$$\Delta x_{1-2 \text{ испр}} = \Delta x_{1-2} \pm \delta_{\Delta x_{1-2}} \quad (3.26)$$

Пример 3.10. Если $\Delta x_{1-2} = -207,97 \text{ м}$, $\delta_{\Delta x_{1-2}} = +0,01 \text{ м}$, $\Delta y_{1-2} = -79,97 \text{ м}$, $\delta_{\Delta y_{1-2}} = +0,07 \text{ м}$,

то $\Delta x_{1-2 \text{ испр}} = \Delta x_{1-2} + \delta_{\Delta x_{1-2}} = -207,97 \text{ м} + 0,01 \text{ м} = -207,96 \text{ м}$.

$$\Delta y_{1-2 \text{ испр}} = \Delta y_{1-2} + \delta_{\Delta y_{1-2}} = -79,97 + 0,07 = -79,90 \text{ м}.$$

Для замкнутого полигона суммы исправленных приращений координат должны быть равны нулю:

$$\sum \Delta x_{\text{испр}} = 0; \quad \sum \Delta y_{\text{испр}} = 0.$$

Для разомкнутого хода – $\sum \Delta x_{\text{испр}} = \sum \Delta x_{\text{теор}}; \quad \sum \Delta y_{\text{испр}} = \sum \Delta y_{\text{теор}}$.

1.17. По исправленным приращениям и координатам начальной точки последовательно вычисляют координаты всех вершин полигона:

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2 \text{ испр}}; \quad y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2 \text{ испр}}; \quad (3.27, 3.28)$$

$$x_3 = x_2 + \Delta x_{2-3 \text{ испр}}; \quad y_3 = y_2 + \Delta y_{2-3 \text{ испр}} \text{ и т.д.}$$

Пример расчета координат вершин замкнутого теодолитного хода приведен в ведомости (см. табл. 3.1).

Пример 3.11. Дано: $x_1 = 832812 \text{ м}$; $y_1 = 774584 \text{ м}$;

$$\Delta x_{1-2 \text{ испр}} = -207,96 \text{ м}; \quad \Delta y_{1-2 \text{ испр}} = -79,90.$$

Решение: $x_2 = x_1 + \Delta x_{1 \text{ испр}} = 8328,12 - 207,96 = 8120,16 \text{ м.}$

$y_2 = y_1 + \Delta y_{1 \text{ испр}} = 7745,84 \text{ м} - 79,90 \text{ м} = 7665,94 \text{ м.}$

1.18. Окончательным контролем правильности вычислений координат служит получение координат начальной точки разомкнутого теодолитного хода и получение исходных значений координат для начальной точки в случае замкнутого полигона.

2. Построение плана участка теодолитной съёмки

Графические работы состоят в построении плана теодолитной съёмки на основе координат вершин теодолитного хода и абрисов съёмки ситуации. Составление плана выполните в следующей последовательности:

- 1) постройте координатную сетку (рис. 3.4);
- 2) наложите теодолитный ход на план (рис. 3.5);
- 3) нанесите ситуацию;
- 4) оформите план.

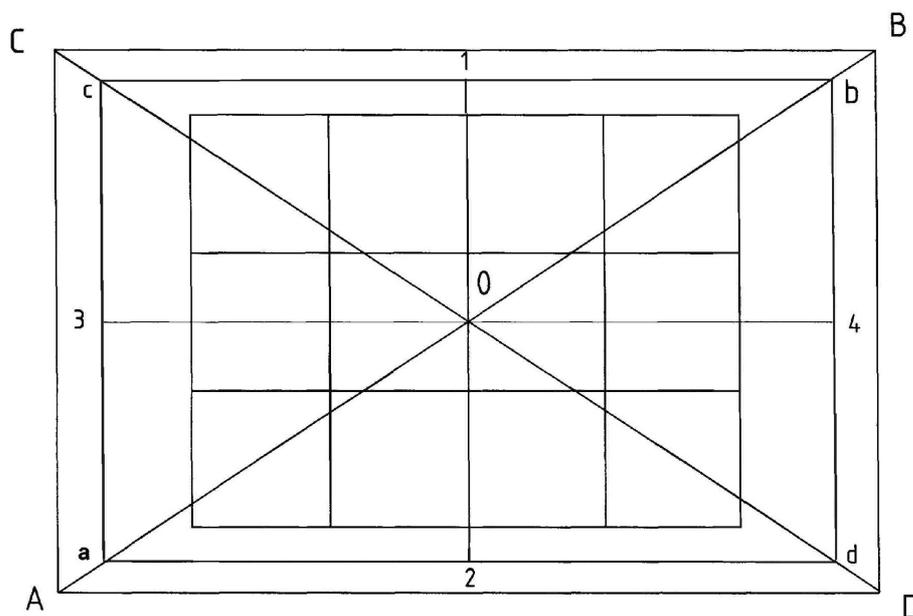


Рис. 3.4. Схема построения координатной сетки